



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Auftriebsströmungen verschiedener Wärmequellen

Einfluss der umgebenden Wände auf den geförderten Volumenstrom

Kofoed, Peter; Nielsen, Peter V.

Publication date:
1991

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kofoed, P., & Nielsen, P. V. (1991). *Auftriebsströmungen verschiedener Wärmequellen: Einfluss der umgebenden Wände auf den geförderten Volumenstrom*. Dept. of Building Technology and Structural Engineering. Indoor Environmental Technology Vol. R9151 No. 23

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**INDOOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
PAPER NO. 23**

Presented at DKV-Jahrestagung, Berlin, 1991

P. KOFOED & P. V. NIELSEN
AUFTRIEBSSTRÖMUNGEN VERSCHIEDENER WÄRMEQUELLEN
- EINFLUSS DER UMGEBENDEN WÄNDE AUF DEN GEFÖRDERTEN
VOLUMENSTROM
DECEMBER 1991

ISSN 0902-7513 R9151

The papers on INDOOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY are issued for early dissemination of research results from the Indoor Environmental Technology Group at the University of Aalborg. These papers are generally submitted to scientific meetings, conferences or journals and should therefore not be widely distributed. Whenever possible reference should be given to the final publications (proceedings, journals, etc.) and not to the paper in this series.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK
DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER • AUC • AALBORG • DANMARK

INDOOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY
PAPER NO. 23

Presented at DKV-Jahrestagung, Berlin, 1991

P. KOFOED & P. V. NIELSEN
AUFTRIEBSSTRÖMUNGEN VERSCHIEDENER WÄRMEQUELLEN
- EINFLUSS DER UMGEBENDEN WÄNDE AUF DEN GEFÖRDERTEN
VOLUMENSTROM
DECEMBER 1991

ISSN 0902-7513 R9151

Auftriebsströmungen verschiedener Wärmequellen - Einfluss der umgebenden Wände auf den geförderten Volumenstrom

Peter Kofoed, Sulzer Infra, Winterthur, Schweiz &

Peter V. Nielsen, Universität Aalborg, Dänemark

Kurzfassung

Der Auftriebsvolumenstrom über einer Wärmequelle wird von vielen Faktoren beeinflusst. Einer davon stellen die Wandbedingungen dar. Wenn die Wärmequelle an einer Wand oder an einer Ecke steht, wird die Zuströmung behindert und das Auftriebsvolumen reduziert. Dieser Artikel stellt einfache Symmetrieüberlegungen vor, um das Auftriebsvolumen einzelner als auch paarweise nebeneinander liegender Strömungen zu berechnen. Die Überlegungen sind, was das Auftriebsvolumen in unmittelbarer Nähe einer Wand oder in einer Ecke anbetrifft, experimentell geprüft worden. Für die Quelllüftung bedeutet das eine Verminderung der geschätzten nötigen Luftmenge, wenn eine auf Luftqualität basierende Auslegung benutzt wird.

Symbole

C_0	Verunreinigungskonzentration im Aufenthaltsbereich
C_R	Verunreinigungskonzentration in der Abluft
Q_0	Konvektive Wärmeabgabe der Wärmequelle
T_F	Bodentemperatur
T_R	Ablufttemperatur
V	Auftriebsvolumenstrom
x	Höhe

1. Einführung

Das Hauptziel der Lüftung ist, die Benutzer mit guter Luftqualität zu versorgen. Zu diesem Zweck muss der nötige Luftwechsel geschätzt werden. In der Quelllüftung ist die Schätzung vom Volumenstrom in den thermischen Auftriebsströmungen abhängig, wenn eine auf Luftqualität basierende Auslegung angewandt wird. Der Auftriebsvolumenstrom wird von vielen Faktoren beeinflusst. Zum Beispiel wird die Zuströmung behindert, wenn die Wärmequelle nah an Wänden oder in der Nähe von anderen Wärmequellen steht. Die daraus resultierenden Einflüsse auf den Volumenstrom werden im vorliegenden Bericht erläutert.

1.1 Quelllüftung

Das qualitative Strömungsverhalten kann aufgrund vieler Publikationen der letzten Jahre als bekannt gelten, Ref. /1, 3, 6, 12/.

Gute Luftqualität wird durch das Trennungsprinzip erreicht, d.h. die frische und die verbrauchte Luft werden getrennt. Die sich aufwärts bewegende thermische Strömung erzeugt eine obere Zone mit Mischströmung, bei der die Verunreinigungskonzentration höher ist als in der tieferen, sauberen Zone. Die charakteristische Schicht zwischen den zwei Zonen kann mit Rauchversuchen sichtbar gemacht werden, Ref. /7 pp. 14-15, 9 pp. 75-78/. Die Konzentrationsverteilung im Raum bestätigt auch das Trennungsprinzip, da ein plötzlicher Schritt in die Konzentration bemerkt werden kann, siehe Heiselberg & Sandberg /4/ oder Holmberg et Al. /5/.

Das Prinzip der Quelllüftung zeigt Bild 1. Die Schicht teilt den Raum in zwei Zonen, wobei die Höhe dieser Schicht abhängig ist vom Verhältnis zwischen dem zugeführten Luftvolumenstrom und dem Volumenstrom in den thermischen Auftriebsströmungen. Die Schichtung stabilisiert sich auf der Höhe, wo diese zwei Volumenströme gleich sind. Beim Aufstieg reißt eine Auftriebsströmung Luft mit. Folglich wird eine Erhöhung des Luftwechsels die Schicht steigen lassen. Andererseits wird zuwenig Luft eine zu tief liegende Schicht bedingen.

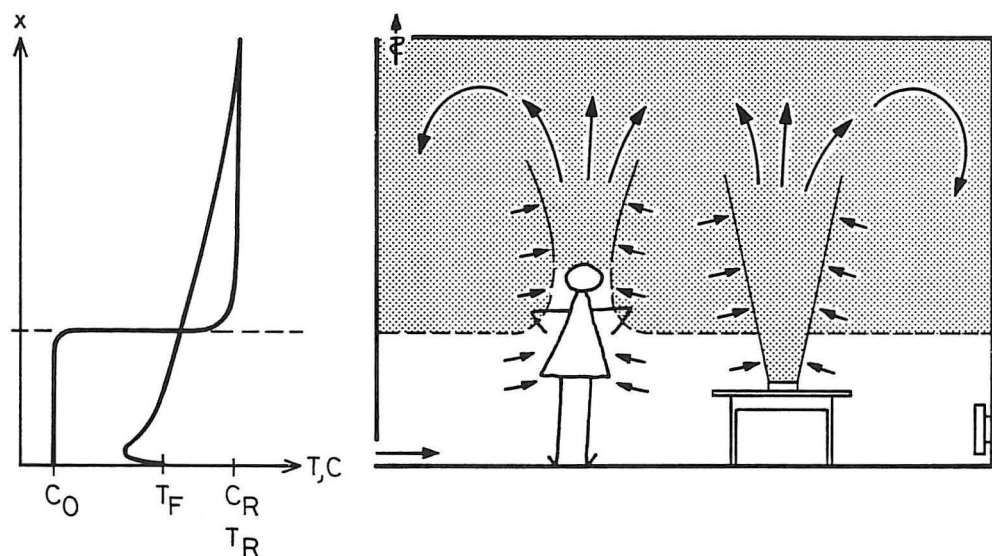


Bild 1 Quellluftströmung mit zwei Zonen - Die linksstehenden Grafiken zeigen die Temperatur- und die Verunreinigungsverteilung. Die letztgenannte zeigt eine deutliche Schichtenbildung im Konzentrationsverlauf.

Die Auslegung eines Quelllüftungssystems könnte aus zwei Aufgaben bestehen: eine Berechnung des thermischen Komforts und eine Kontrolle der Luftqualität. Die Komfortberechnung umfasst eine Kalkulation des vertikalen Temperaturgradienten, der Strahlungsasymmetrie und der Nahzone der Auslässe. Dazu werden oft einfache Modelle verwendet, siehe z.B. Ref. /12 pp. 62-69/. Die auf Luftqualität basierende Auslegung folgt danach und kann in einigen Fällen den Luftwechsel erhöhen.

1.1.1 Auf Luftqualität basierende Auslegung

Es ist denkbar, den Luftvolumenstrom so festzusetzen, dass die saubere Luft den ganzen Aufenthaltsbereich einschliesst, d.h. bis auf ca. 1.8 m über den Boden reicht. Doch solch eine Annäherung führt unweigerlich auf einen zu hohen Luftwechsel, einen beträchtlich höheren als üblich.

Holmberg et Al. /5/ haben in der Einatemungszone Luftqualitätsmessungen mit normal tiefem Luftwechsel durchgeführt. Ihre Untersuchungen geben immer noch der Quelllüftung den Vorzug, auch wenn die Schicht unterhalb der Einatemungszone liegt. Die Luft wird vom Frischluftsee unten mitgerissen und durch die Konvektionsgrenzschicht vom Boden bis zur Einatemungszone um den menschlichen Körper herum geführt. So sollte die Luftqualität in der Einatemungszone besser sein als in der umliegenden Raumluft auf gleicher Höhe. Eine Schichthöhe von 1 bis 1.2 m gibt vernünftige Luftwechsel und sichert auch in der Einatemungszone eine gute Luftqualität.

1.2 Umfang

Dieser Artikel legt den Einfluss auf die Zuströmung bei Konvektionsströmungen nahe einschliessender Wände oder anderer thermischer Luftströmungen dar. Einfache Symmetrieüberlegungen werden vorgestellt und im Fall von Wandströmungen experimentell geprüft.

2. Theorie über Auftriebsströmungen

Die turbulente Ausbreitung erhitzter Luft ist 50 Jahre lang erforscht worden. Schmidt /15/ und Rouse et Al. /14/ sind frühe Forscher, später macht Popielek /13/ eine Analyse. Folgendes Gesetz wurde für den Volumenstrom einer freien rotationssymmetrischen Auftriebsströmung gefunden.

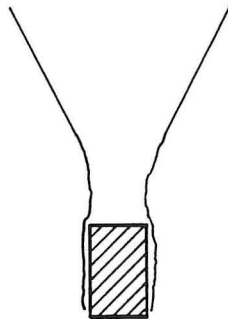
$$V \approx Q_0^{1/3} x^{5/3} \quad (1)$$

2.1 Symmetrieüberlegungen

Wenn die thermische Strömung in der Nähe von einschliessenden Wänden steigt, wird die Zuströmung behindert (Ref. /7 pp. 11-12, 9/). Dies kann auch geschehen, wenn sich zwei Konvektionsströmungen gegenseitig beeinflussen. Der Coanda Effekt kann bei Strömungen nahe bei Wänden auftreten, so dass sie nicht mehr spiegelachsig sind. Folgende Symmetrieüberlegungen können trotzdem einen Einblick in den Auftriebsvolumenstrom solcher Strömungen verschaffen.

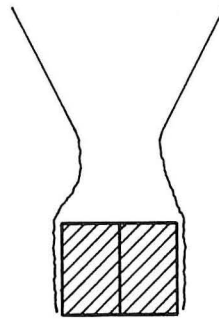
Freie Auftriebsströmung

$$V \approx Q_0^{1/3}$$



Freie Strömung von zwei Wärmequellen nahe beieinander

$$V \approx (2Q_0)^{1/3} \approx 1.26 Q_0^{1/3}$$



Strömung an einer Wand

$$V \approx 1/2 (2Q_0)^{1/3} \approx 0.63 Q_0^{1/3}$$

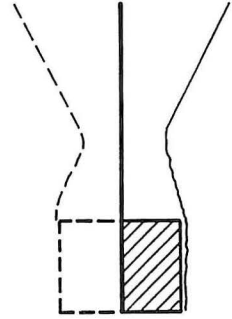


Bild 2 Symmetrieüberlegungen über den Auftriebsvolumenstrom in thermischen Strömungen sind hier veranschaulicht: Freie Auftriebsströmung, freie Strömung von nahe beieinander liegenden Wärmequellen, Strömung an einer Wand.

Freie Auftriebsströmung:

$$V \approx Q_0^{1/3} \quad (2)$$

Zwei gleiche Wärmequellen, die nahe beieinander liegen und eine gemeinsame Auftriebsströmung bilden:

$$V \approx (2 Q_0)^{1/3} \quad (3)$$

$$V \approx 1.26 Q_0^{1/3} \quad (4)$$

Strömung an einer Wand:

$$2V \approx (2 Q_0)^{1/3} \quad (5)$$

$$V \approx 0.63 Q_0^{1/3} \quad (6)$$

Strömung in einer Ecke:

$$4V \approx (4 Q_0)^{1/3} \quad (7)$$

$$V \approx 0.40 Q_0^{1/3} \quad (8)$$

Der Einfluss der Quellengeometrie wird vernachlässigt und nur die Heizleistung berücksichtigt. Die Symmetrieüberlegungen erlauben eine einfache Berechnung des geförderten Volumens und führen zum folgenden Ergebnis: **Das Auftriebsvolumen einer Wandströmung beträgt 63 % von dem der entsprechenden freien Strömung, für eine Strömung in einer Ecke reduziert sich der Wert auf 40 %.** Zwei gleiche, nahe beieinander liegende Quellen formen eine Strömung, bei der der gemeinsame Volumenstrom 126 % einer einzelnen freien Quelle beträgt.

Wenn die Symmetrie-Überlegung richtig ist, heisst das für die Quelllüftung mit auf Luftqualität basierender Auslegung, dass der Luftvolumenstrom herabgesetzt werden kann, wenn die thermischen Strömungen nahe bei Wänden oder nahe beieinander stattfinden.

3. Versuchtechnik

Die Versuchsermittlungen werden in einem Klimaraum im Massstab 1:1 im Institut für Gebäudetechnologie in der Universität Aalborg, Dänemark, durchgeführt.

Die Wärmequellen sind vom Typ senkrechte, geschlossene Zylinder oder senkrechte, offene Rohre. Für die Simulation der Strömung um eine Person wird ein schwarz bemalter Zylinder gewählt. Er ist 1000 mm hoch und hat einen Durchmesser von 400 mm. Mit vier Lampen wird der Innenraum des Zylinders beheizt. Bei einer Leistung von 100 W hat die Quelle eine Oberflächentemperatur ähnlich der des Menschen. Während der Messungen wird diese Wärmequelle direkt auf den Boden gestellt. Die anderen zwei Quellen sind Stahlrohre mit heissen Drähten an der Innenseite. Die Luft wird von unten durch die Quelle geführt. Die Höhe ist 150 mm und der Durchmesser 50 mm, bzw. 150 mm und 100 mm. Die Leistungen betragen 125 W bzw. 500 W.

Um den Auftriebsvolumenstrom zu messen, werden zwei verschiedene Methoden angewandt: die sogenannte Nullmethode [2] und das gleichzeitige Messen mit mehreren Heizkörperanemometern.

3.1. Die Nullmethode

Für die Messungen des Volumenstroms wird die Nullmethode angewandt. Um die senkrechte Richtung der Auftriebsströmung zu bestätigen, werden zuerst Versuche mit Rauch durchgeführt, indem man Rauch in die Quellenzonen einführt. Als nächstes wird die Luft über der Wärmequelle mit einer Absaughaube abgepumpt. Das abgesaugte Luftvolumen kann mit einem Hilfsventilator variiert werden, und der Luftvolumenstrom wird mit einer Blende gemessen. Bild 3 zeigt ein Schema des Aufbaus.

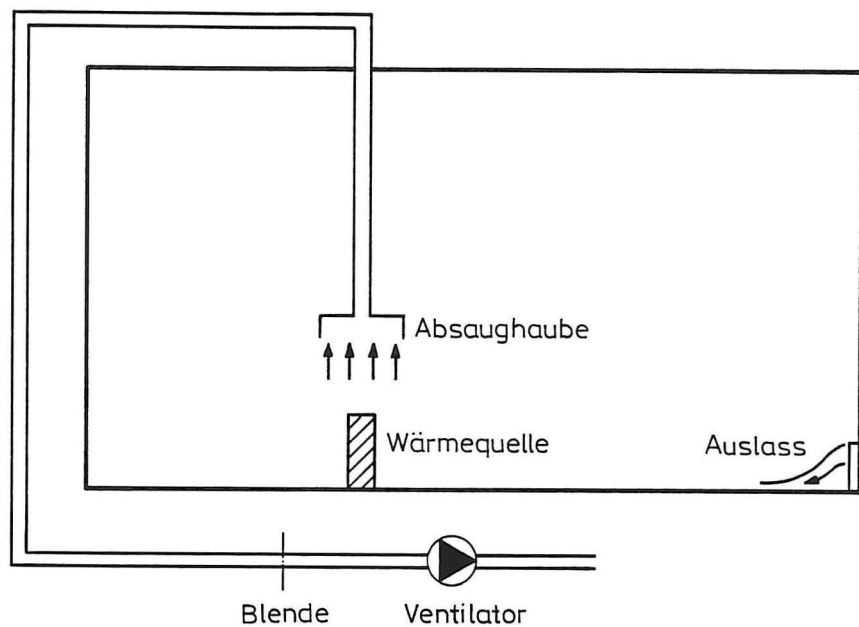


Bild 3 Schema mit dem Nullmethoden Aufbau: Wärmequelle, Absaughaube, Blende, Hilfsventilator usw. Der vertikale Temperaturgradient wird ausserhalb der Strömung gemessen. Am Rand der Haube oder an der Wärmequelle kann Rauch eingeführt werden.

Gelegentlich wird am Rand der Absaughaube etwas Rauch eingeführt, um zu prüfen, ob keine horizontale Strömung stattfindet. Wenn das der Fall ist, kann man annehmen, dass die gleiche Menge Luft durch die Haube abgesaugt wird wie der senkrechte Volumenstrom im Auftriebsstrahl der Wärmequelle auf gleicher Höhe. Hauben mit verschiedenen Breiten und Seitenhöhen werden zur Verbesserung der Methode ermittelt. Der Haubendurchmesser wird aufgrund praktischer Ausführungen von Versuchen und von Vergleichen mit den Resultaten einer Extrapolationsmethode /8,9/ gewählt. Ein Durchmesser von 1.60 m und eine Seitenhöhe von 0.20 m sind angemessen für Messungen in 2 m über Boden und für Wärmequellen wie in /Kapitel 3/ beschrieben. Der Volumenstrom kann bis auf 10 % des gemessenen Wertes geschätzt werden. Die Nullmethode ist einfach zu gebrauchen und gibt rasche Ergebnisse. Die ermittelte Strömung muss nicht achsensymmetrisch oder vollkommen entwickelt sein. Des weiteren geben von einschliessenden Wänden beeinflusste Strömungen, d.h. Wandstrahle, keine Probleme, da in diesem Fall die Rauchbeobachtungen stabiler werden.

4. Messungen

4.1 Ergebnisse - Nullmethode

Die Wärmequelle wird so plaziert, dass sie eine freie Auftriebsströmung formt oder nahe an einer Wand liegt, wo die freie Zuströmung behindert wird.

Die Messung des Auftriebsvolumenstroms hat in 2.00 m Höhe über dem Boden stattgefunden. Weiterhin haben sich in der Umgebung zwei unterschiedliche Temperaturgradienten eingestellt, deren Werte 0.3 K/m oder 0.6 K/m zwischen 0.10 m und 2.00 m über dem Boden betragen. Abbildung 4 stellt die Ergebnisse dar.

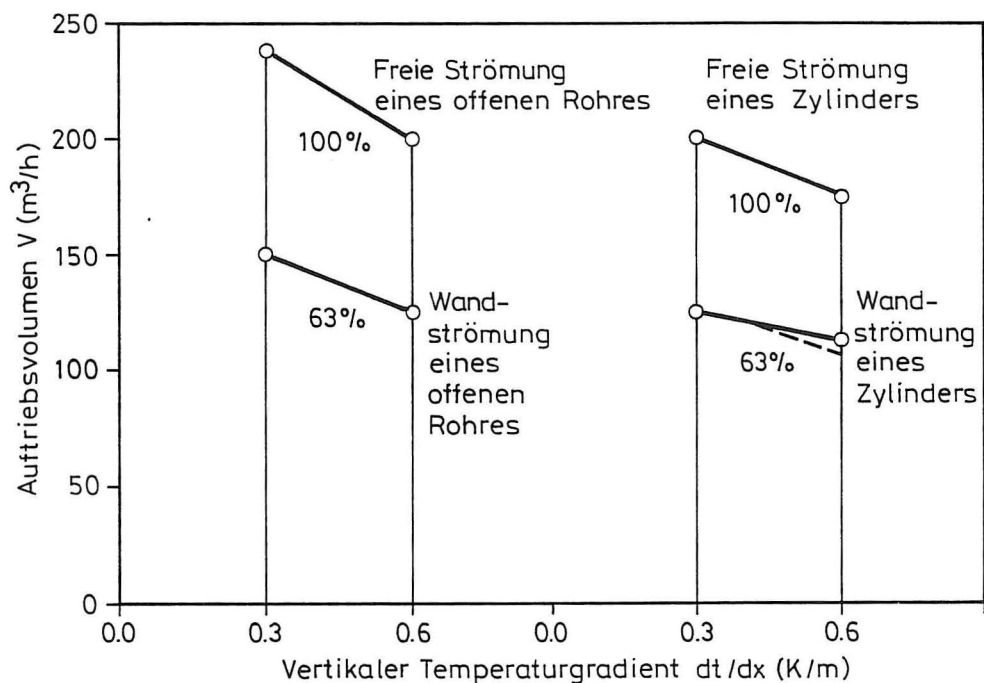


Bild 4 Auftriebsvolumenstrom in freien Strömungen und in korrespondierenden Wandströmungen 2.00 m über dem Boden. In beiden Fällen (Rohr 125 W, D 50 mm, H 150 mm links und Zylinder 100 W, D 400 mm, H 1000 mm rechts) führt eine Erhöhung des vertikalen Temperaturgradienten zu einer Reduktion des Volumenstroms. Die Platzierung der Wärmequelle im Verhältnis zu den umgebenden Wänden spielt eine noch grössere Rolle. An einer Wand wird die Zuströmung behindert, so dass der geförderte Volumenstrom ungefähr 63 % von dem der korrespondierenden freien Strömung ausmacht.

4.2 Ergebnisse - Heizkörperanemometrie

Es wurde in neun verschiedenen Höhen zwischen 0.75 m und 2.50 m über dem Boden gemessen. Die Wärmequelle (Rohr 500 W, D 100 mm, H 150 mm) war an drei Stellen platziert worden, das heisst frei, an einer Wand oder in einer Ecke. Während der Messungen schwankte der vertikale Temperaturgradient zwischen 0.1 K/m und 0.3 K/m, also verglichen mit normalen Verhältnissen um ziemlich kleine Werte. Die Messresultate können der Abbildung 5 entnommen werden.

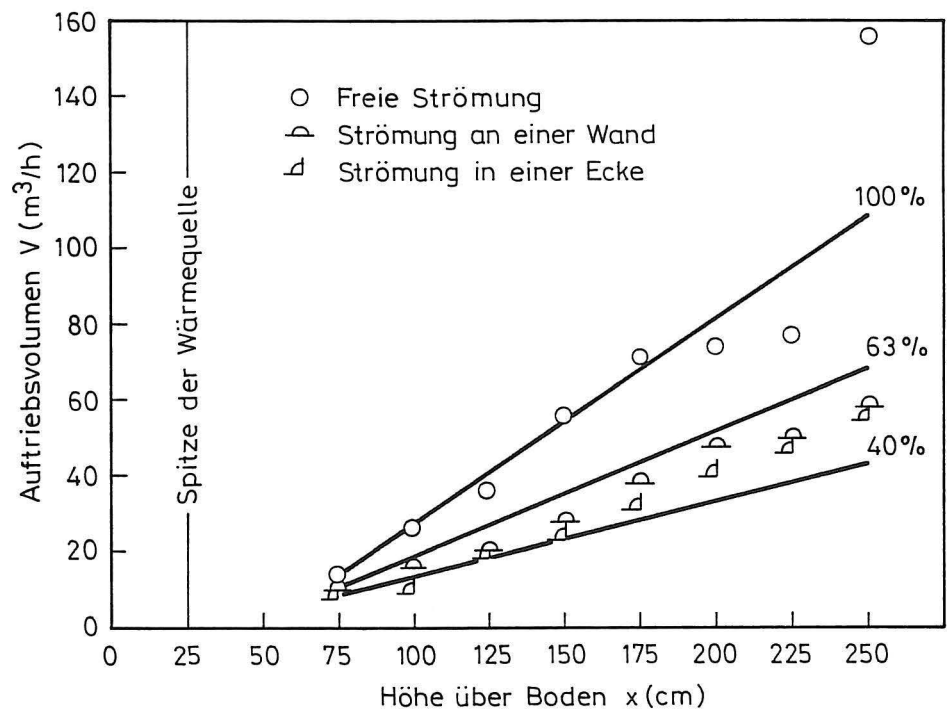


Bild 5 Auftriebsvolumenstrom (Rohr 500 W, D 100 mm, H 150 mm) in Abhängigkeit der Höhe über Boden von einer freien Strömung, einer Wandströmung und einer Strömung in einer Ecke. Das Volumen steigt in allen drei Fällen mit der Höhe. Der Einfluss der Wandbedingungen ist deutlich. Je grösser die Behinderung (frei, an einer Wand, in einer Ecke), desto kleiner wird der Volumenstrom. Die drei eingetragenen Linien zeigen einen Vergleich mit der Symmetrieüberlegung aus /Kapitel 2.1/.

4.3 Erklärungen

Die Messungen der Nullmethode (siehe Abb. 4) sind nicht sehr umfangreich, aber die zweimal jeweils 4 Messwerte stimmen gut mit den Symmetrieüberlegungen in Kapitel 2.1 überein. Es scheint, dass ein 63%-Zusammenhang zwischen einer freien Auftriebsströmung und einer Wandströmung besteht, was den geförderten Volumenstrom in vertikaler Richtung anbelangt. Damit scheint die Gleichung 6 in Ordnung zu sein.

Die dreimal jeweils neun Multipunktmessungen mit Heizkörperanemometrie (siehe Abb. 5) zeigen auch eine Reduktion des Volumenstroms im Fall Strömung an einer Wand und Strömung in einer Ecke im Vergleich zur freien Strömung in der erwähnten Reihenfolge. Die Übereinstimmung mit den Symmetrieüberlegungen des Kapitels 2.1 ist nicht so gut wie bei der Nullmethode. Die Ergebnisse sind früher in der Referenz /7/ veröffentlicht worden. Damals wurde die langzeitige "large scale oscillation" der Symmetrieachse einer freien Strömung nicht berücksichtigt, was zu zu kleinen Luftmengen führte. Das Phänomen wurde von Popiolek /13/ analysiert und ist auch in /9/ beschrieben. Der systematische Fehler ist mit ungefähr 10 % korrigiert worden. Trotz dieser Unsicherheit erlauben die Symmetrieüberlegungen eine gute Abschätzung des Volumenstroms.

5. Schlussfolgerung

Der Auftriebsvolumenstrom wird wegen der behinderten Zuströmung reduziert, wenn eine Wärmequelle an einer Wand oder in einer Ecke steht.

Für die Berechnung des Volumenstroms einzelner oder auch paarweise nebeneinander liegender Wärmequellen stellt dieser Artikel einfache Symmetrieüberlegungen vor: Der geförderte Volumenstrom einer Wandströmung beträgt 63 % der entsprechenden freien Strömung, für eine Strömung in einer Ecke reduziert sich der Wert auf 40 %. Zwei gleiche nahe beieinander liegende Quellen formen eine Strömung, bei der der Volumenstrom 126 % einer einzelnen freien Quelle beträgt.

Die Symmetrieüberlegungen sind für die Wandströmung und die Strömung in einer Ecke experimentell mit zwei verschiedenen Messmethoden geprüft worden. Es scheint, dass diese einfachen Überlegungen eine gute Vorstellung der Grösse des Volumenstroms solcher Konvektionsphänomenen ergeben.

Für die Auslegung eines Quelllüftungssystems bedeutet das eine Reduktion des nötigen Luftwechsels wenn eine auf Luftqualität basierende Auslegung verwendet wird.

Referenzen

- 1- Brügger, P. & B. Kegel : Displacement Ventilation for an Office Building with Triple Glaced Windows, Clima 2000, Sarajevo, Sept. 1989.
- 2- Fitzner, K.: Quelllüftung, Forschungsbericht Nr. 522, Klimatechnisches Laboratorium Betzdorf, Heinrich Nickel GmbH, Klima- und Lufttechnik.
- 3- Fitzner, K.: Quelllüftung in Theorie und Praxis, Sonderteil, CCI 5/1991, pp. 36 - 40, 1991.
- 4- Heiselberg, P. & M. Sandberg: Convection from a Slender Cylinder in a Ventilated Room, RoomVent-90, Oslo, Norway, 1990.
- 5- Holmberg, R.B. et Al.: Inhalation Zone Air Quality Provided by Displacement Ventilation, RoomVent-90, Oslo, Norway, 1990.
- 6- Kegel, B. & U.W. Schulz: Displacement Ventilation for Office Buildings, 10th AIVC Conference on Progress and Trends in Air Infiltration and Ventilation Research, Espoo, Finland, Sept. 25-28, 1989.
- 7- Kofoed, P. & P.V. Nielsen: Thermal Plumes in Ventilated Rooms - An Experimental Research Work, 3rd Seminar on Silesian Technical University, Gliwice, Poland 1988. Also published in Indoor Environmental Technology, paper no. 7, ISSN 0902-7513 R8833, 1988.
- 8- Kofoed, P. & P.V. Nielsen: Thermal Plumes in Ventilated Rooms - Measurements in Stratified Surroundings and Analysis by Use of an Extrapolation Method, RoomVent-90, Oslo, Norway, 1990.
- 9- Kofoed, P.: Thermal Plumes in Ventilated Rooms, Ph. D. Thesis, University of Aalborg, Denmark, 1991.
- 10- Kofoed, P. & P.V. Nielsen: Thermal Plumes in Ventilated Rooms - Vertical Volume Flux Influenced by Enclosing Walls, 12th AIVC Conference, Ottawa, Canada, Sept. 24 - 27, 1991.
- 11- Mierzwinski, S.: Air Motion and Temperature Distribution Above a Human Body in Result of Natural Convection, A4-series no. 45, Dept. of Heating and Ventilating, Royal Inst. of Technology, Stockholm, Sweden, 1981.
- 12- Mundt, E.: Temperaturgradienter och Konvektionsflöden vid Deplacerende Ventilation, Ph.D. Thesis, KTH, Installationsteknik, Meddl. nr. 16., Sweden, 1991.
- 13- Popiolek, Z.: Problems of Testing and Mathematical Modelling of Plumes Above Human Body and Other Extensive Heat Sources, A4-series no. 54, Dept. of Heating and Ventilating, Royal Inst. of Technology, Stockholm, Sweden, 1981.
- 14- Rouse, H., C.S. Yih & H.W. Humphreys: Gravitational Convection from a Boundary Source, Tellus, 4, pp. 201-210, 1952.
- 15- Schmidt, W.: Turbulente Ausbreitung eines Stromes erhitzter Luft, Z. angew. Math. Mech., Bd. 21, Nr. 5 & 6, Okt. & Dez. 1941.

PAPERS ON INDOOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

PAPER NO. 1: C. E. Hyldgård: *Aerodynamic Control of Exhaust*. ISSN 0902-7513 R8712.

PAPER NO. 2: Per Heiselberg, Peter V. Nielsen: *The Contaminant Distribution in a Ventilated Room with Different Air Terminal Devices*. ISSN 0902-7513 R8713.

PAPER NO. 3: Peter V. Nielsen, L. Evensen, Peter Grabau, J. H. Thulesen-Dahl: *Air Distribution in Rooms with Ceiling-Mounted Obstacles and Three-Dimensional Flow*. ISSN 0902-7513 R8714.

PAPER NO. 4: Peter V. Nielsen, Åke T. A. Möller: *Measurements on Buoyant Wall Jet Flows in Air-Conditioned Rooms*. ISSN 0902-7513 R8715.

PAPER NO. 5: Peter V. Nielsen: *Numerical Prediction of Air Distribution in Rooms. Status and Potentials*. ISSN 0902-7513 R8823.

PAPER NO. 6: Peter V. Nielsen, Åke T. Möller: *Measurements on Buoyant Jet Flows from a Ceiling-Mounted Slot Diffuser*. ISSN 0902-7513 R8832.

PAPER NO. 7: Peter Kofoed, Peter V. Nielsen: *Thermal Plumes in Ventilated Rooms - An Experimental Research Work*. ISSN 0902-7513 R8833.

PAPER NO. 8: Peter V. Nielsen, Lars Hoff, Lars Germann Pedersen: *Displacement Ventilation by Different Types of Diffusers*. ISSN 0902-7513 R8834.

PAPER NO. 9: Per Heiselberg, Peter V. Nielsen: *Flow Conditions in a Mechanically Ventilated Room with a Convective Heat Source*. ISSN 0902-7513 R8835.

PAPER NO. 10: Peter V. Nielsen: *Displacement Ventilation in a Room with Low-Level Diffusers*. ISSN 0902-7513 R8836.

PAPER NO. 11: Peter V. Nielsen: *Airflow Simulation Techniques - Progress and Trends*. ISSN 0902-7513 R8926.

PAPER NO. 12: M. Skovgaard, C. E. Hyldgaard & P. V. Nielsen: *High and Low Reynolds Number Measurements in a Room with an Impinging Isothermal Jet*. ISSN 0902-7513 R9003

PAPER NO. 13: M. Skovgaard, P. V. Nielsen: *Numerical Prediction of Air Distribution in Rooms with Ventilation of the Mixing Type using the Standard K, ϵ -Model*. ISSN 0902-7513 R9042.

PAPER NO. 14: P. Kofoed, P. V. Nielsen: *Thermal Plumes in Ventilated Rooms - Measurements in Stratified Surroundings and Analysis by Use of an Extrapolation Method*. ISSN 0902-7513 R9043.

PAPER NO. 15: P. Heiselberg, M. Sandberg: *Convection from a Slender Cylinder in a Ventilated Room*. ISSN 0902-7513 R9044.

PAPERS ON INDOOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

PAPER NO. 16: C. E. Hyldgaard: *Water Evaporation in Swimming Baths*. ISSN 0902-7513 R9045.

PAPER NO. 17: H. Overby, M. Steen-Thøde: *Calculation of Vertical Temperature Gradients in Heated Rooms*. ISSN 0902-7513 R9046.

PAPER NO. 18: P. V. Nielsen, U. Madsen, D. Tveit: *Experiments on an Exhaust Hood for the Paint Industry*. ISSN 0902-7513 R9146.

PAPER NO. 19: L. Germann Pedersen, P. V. Nielsen: *Exhaust System Reinforced by Jet Flow*. ISSN 0902-7513 R9147.

PAPER NO. 20: P. V. Nielsen: *Models for the Prediction of Room Air Distribution*. ISSN 0902-7513 R9148.

PAPER NO. 21: M. Skovgaard, P. V. Nielsen: *Modelling Complex Inlet Geometries in CFD - Applied to Air Flow in Ventilated Rooms*. ISSN 0902-7513 R9149.

PAPER NO. 22: M. Skovgaard, P. V. Nielsen: *Numerical Investigation of Transitional Flow over a Backward Facing Step using a Low Reynolds Number $k - \epsilon$ Model*. ISSN 0902-7513 R9150.

PAPER NO. 23: P. Kofoed, P. V. Nielsen: *Auftriebsströmungen verschiedener Wärmequellen - Einfluss der umgebenden Wände auf den geförderten Volumenstrom*. ISSN 0902-7513 R9151.

PAPER NO. 24: P. Heiselberg: *Concentration Distribution in a Ventilated Room under Isothermal Conditions*. ISSN 0902-9152.

Department of Building Technology and Structural Engineering
The University of Aalborg, Sohngaardsholmsvej 57. DK 9000 Aalborg
Telephone: 45 98 15 85 22 Telefax: 45 98 14 82 43